第 38 卷第 10 期
2018 年 5 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.10
May,2018

DOI: 10.5846/stxb201701120099
牛莉芹,程占红.五台山旅游开发与植被景观相互影响的生态效应评价.生态学报,2018,38(10):3639-3652.
Niu L Q, Cheng Z H.Evaluation of the ecological effect of tourism development on vegetation landscapes in Mount Wutai.Acta Ecologica Sinica,2018,38(10):3639-3652.

五台山旅游开发与植被景观相互影响的生态效应评价

牛莉芹[1],程占红[2,*]
1 山西财经大学环境经济学院,太原 030006
2 山西财经大学旅游管理学院,太原 030031

摘要:研究旅游对植被的影响对于景区生态管理具有重要的实践意义。从景观重要值(LIV)、物种多样性(SD)、群落结构比(PCS)、阴生种比值(NSP)、伴人种比值(PS)和旅游影响系数(TII)6 个方面,构建了一套涉及 4 个层次、27 个具体指标的评价体系,并结合五台山景区进行了实证分析。结果表明:(1)在不同方向上,随着距离的增加,旅游活动越来越少,植被景观依次由居民区、商业区或人工植被区向草本区、灌草区和乔灌草区的方向演替。相应地,LIV、SD、PCS、NSP 和生态效应值(EIV)越来越大,PS 和 TII 越来越小。(2)不同的植被类型,其景观特征明显不同。对于 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV5 个特征值的表征,草本区<灌草区<乔灌草区;至于 PS 和 TII,草本区>灌草区>乔灌草区。旅游干扰下不同种群有不同的生物生态学特性,其中,青杨种群相对独特。(3)就整个台怀镇而言,旅游开发程度的空间格局是景点分布和地形因素共同作用的结果,植被景观对此有着明显的生态响应。不同方向上样地的数量就是旅游开发程度强弱的表征。正南和东北方向开发程度最强,其次是正北、东南和西南、正东方向,西北和正西方向最弱。(4)根据 EIV,将整个区域分为四类区:Ⅰ类区为寺庙区、居民区和商业区,Ⅱ类区为草本区,Ⅲ类区是乔、灌、草的混合区,Ⅳ类区是乔灌草区。

关键词:五台山;旅游开发;植被景观;生态效应评价

Evaluation of the ecological effect of tourism development on vegetation landscapes in Mount Wutai

NIU Liqin[1], CHENG Zhanhong[2,*]
1 *College of Environment Economics, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan* 030006, *China*
2 *College of Tourism Management, Shanxi University of Finance & Economics, Taiyuan* 030031, *China*

Abstract: Studying the impact of tourism on vegetation has an important practical significance for the ecological management of scenic spots. The evaluation system was constructed from landscape importance value (LIV), species diversity (SD), proportions in community structure (PCS), negative species proportion (NSP), proportion of species in close proximity to human beings (PS), and tourism influencing index (TII) and was applied to Mount Wutai, which includes four layers and 27 specific indicators. It shows that (1) with an increase in distance in different directions, tourism activity decreases, and the vegetation landscape changes from residential, commercial, or artificial vegetation areas to an area of herbs, an area of the shrubs and herbs, and an area of trees, shrubs, and herb, in turn. Accordingly, LIV, SD, PCS, NSP, and ecological effect value (EIV) increase with distance, while PS and TII decrease. (2) The landscape characteristics of different vegetation types are obviously different. For the characteristic values of LIV, SD, PCS, NSP,

基金项目:国家自然科学基金项目(41571141,31400358);教育部人文社会科学研究规划基金项目(14YJA630005);山西省高等学校哲学社会科学研究基地项目(2017332);山西省软科学研究项目(2016041012-1);山西省高等学校教学改革研究项目(J2014055);山西省研究生教育改革研究项目(2017JG65)

收稿日期:2017-01-12; **修订日期:**2017-11-29

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: chengzhanhong@163.com

and EIV, the area of herbs < the area of shrubs and herbs < the area of trees, shrubs, and herbs. As for the characteristic values of PS and TII, the area of herbs > the area of shrubs and herbs > the area of trees, shrubs, and herbs. Different populations have biological and ecological characteristics in responsing to tourism disturbance, in which *Populus cathayana* is relatively unique. (3) From Taihuai town, the spatial pattern of tourism development is the result of likeness between scenic spot distributions and topographic factors, and vegetation landscapes have obvious ecological responses. The number of samples in different directions indicates the degree of tourism development. The degree of development was the highest to the south and northeast; the second highest to the north, southeast, southwest, and east; and the lowest to the northwest and west of the town. (4) The whole region is divided into four areas by the EIV. Area I is the temple, residential, and commercial areas; Area II is the area of herbs; Area III is the mixture area of trees, shrubs, and herbs; and Area IV is the coexistence area of trees, shrubs, and herbs.

Key Words: Mount Wutai; tourism development; vegetation landscapes; evaluation of ecological effect

自 20 世纪 90 年代以来,伴随着旅游开发的不断深入,旅游目的地的生态环境问题日益严峻。五台山是典型的宗教旅游胜地、国家级重点风景名胜区,近 3 年来旅游接待人次持续攀升,年均接待 400 多万人次,强烈的旅游活动已严重影响了当地的生态环境。五台山又是“华北屋脊”,海拔较高,旅游中心区——台怀镇也海拔 1600 m,自然生态环境相对高寒。生态系统一旦受到过多的人为干扰将难以恢复,因而监测和评价旅游景区生态系统的变化尤为重要。而植被作为一种最为敏感的生态要素,分析旅游对植被的影响则最能反映旅游生态问题。

20 余年来国内外学者们主要基于不同旅游干扰方式和不同植被生态响应两个视角来开展研究。国外的研究成果主要是从不同旅游活动干扰的视角来比较其对植被的影响,首先,将旅游活动与其他干扰方式相比较,如与放牧、全球气候变化等干扰源相比较,结果表明,全球气候变化的影响具有根本性,会涉及本土植物群落的变化,放牧活动具有广泛性,旅游影响则相对较小,具有一定的局部性[1]。其次,就不同游憩方式对植被的影响进行比较,Pickering 和 Hill 等比较了徒步、骑马和山地自行车活动对植被和土壤的生态影响[2],同时,还综合评价了徒步和山地自行车对亚高山草甸的影响[3]。Törn 等比较了在不同森林类型中徒步、骑马和滑雪运动对游径和植被的影响[4]。Roux-Fouillet 等利用长期的野外实地样方观测,比较了不同滑雪道的管理模式对山地植被和土壤的影响[5]。从植被生态的角度来开展的研究成果,国内外都很多,主要表现在敏感植物种的变化、群落结构、生物多样性、生态位、种间关系等领域。例如,Tzatzanis 等基于植物指示种和生物多样性,来测算景观的价值,从而揭示了植被景观对于旅游干扰的生态响应[6]。杨红玉等分析了抗踩踏植物的形态、结构及其存活策略等生物学特性[7]。朱珠等分析了九寨沟旅游干扰对林下植物多样性的影响及其差异[8]。张桂萍等基于种间关系的研究方法,分析了旅游干扰对历山亚高山草甸种间关联的影响[9]。晋秀龙等从物种多样性的视角研究了旅游活动对九华山植物群落的影响[10]。程占红等基于生态位理论,构建了物种生态响应的速率模式[11],并对五台山亚高山草甸的生态响应进行了测算[12]。上述这些研究工作更多的仅是单纯从物种多样性、种间关系、生态位、以及物种或植被的单个生态特征来测算和描述,至于从整体上来系统地评价旅游对景区植被影响的研究工作还较欠缺。李贞等构建了群落景观重要值、敏感水平等评价指标,并研究了旅游对丹霞山植被的影响[13],但其研究工作尚未构建起一个系统的评价体系,而且没有考虑群落结构、以及各种植被层的生态特性。不同地域植被生态不同,评价体系应有所不同。五台山是典型的温带山地型森林植被类型,以往关于植被生态学的研究主要涉及植物区系和物种多样性[14]、全球气候变化下的林线生态变化及其附近物种多样性[15]、旅游影响下的物种多样性[16]、生态位和格局等[17],缺乏旅游活动对植被影响的综合性评价。为此,在充分借鉴其他学者研究的基础上,将构建一套衡量旅游对植被影响的评价体系,并以五台山为例进行实证分析,以有助于五台山景区的生态环境建设。

1　研究方法

1.1　取样调查

取样调查具体参见文献[16]。

1.2　指标体系及其计量

本文建立的评价体系有 4 个层次、27 个具体指标,包括植被景观重要值、物种多样性、群落结构比、阴生种比值、伴人种比值和旅游影响系数 6 个方面。

(1)景观重要值(landscape important value,简称 LIV)在本文中的含义和计量与以往李贞等[13]所采用的有所不同。以往的 LIV 考虑到群落的物种、结构、美学等因素,比较复杂,故其涵义既反映生态价值,又体现旅游价值,具有一定的复杂性和模糊性。在本研究中,LIV 仅仅反映其生态价值,包括乔木重要值、灌木重要值和草本重要值 3 个方面,其计算公式如下:

乔木重要值=(相对密度+相对高度+相对优势度)/300;

灌木、草本重要值=(相对盖度+相对高度)/200。

其中,

$$相对盖度 = \frac{某一种的盖度}{同一样带上全部样地内的所有种盖度之和} \times 100;$$

$$相对高度 = \frac{某一种的平均高度}{同一样带上全部样地内的所有种的平均高度之和} \times 100;$$

$$相对密度 = \frac{某一种的密度}{同一样带上全部样地内的所有种密度之和} \times 100;$$

$$相对优势度 = \frac{某一种的平均胸面积 \times 株数}{同一样带上全部样地内的所有种平均胸面积 \times 株数之和} \times 100。$$

(2)物种多样性(species diversity,简称 SD)主要包括丰富度、均匀度和多样性 3 个方面[18],本文用 9 个指标分别从乔木层、灌木层和草本层 3 个方面来反映植被景观中物种的丰富度、均匀度和综合多样性。对于 3 种多样性指数,各有不同的测量方法。为了避免样地中单优种的多样性指数为零或无穷大的情况,采用如下方法来进行。

丰富度指数采用:

$$R=S$$

均匀度指数采用:

$$E_4=(1/\lambda)/eH'$$

物种多样性指数采用:

Simpson 指数:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{s} \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中,S:样地中的物种总数;N:S 个种的全部重要值之和;N_i:第 i 个种的重要值。

(3)群落结构比(proportions in community structure,简称 PCS)是反映旅游开发对植物群落结构影响的一个重要指标。植物群落的成层现象主要决定于植物的生活型。根据朗基耶尔生活型,有高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、隐芽植物和一年生植物,其中,高位芽植物又依高度分为 4 个亚类,即大高位芽植物、中高位芽植物、小高位芽植物与矮高位芽植物[19]。群落结构比就是用不同生活型植物所占的重要程度来表征。根据生活型的具体分类,群落结构比共有 3 层、8 个具体指标。

(4)阴生种比值(negative species proportion,简称 NSP)指样地中阴生植物种类所占的重要程度。其值愈大,说明其依存的生态环境愈佳。

(5)伴人种比值(proportion of species in close proximity to human beings,简称 PS)指伴人植物在样地中所占的重要程度。比值愈大,人为影响愈强。当样地为居民区、商业区或寺庙区时,伴人种比值均计为 1。

(6)旅游影响系数(tourism influencing index,简称 TII)指旅游活动对植被景观的干扰程度。TII 越大,说明旅游破坏强度越强,旅游管理质量越差。旅游影响主要包括垃圾、践踏、折枝损坏现象等,其赋值见文献[20]。当样地为居民区、商业区或寺庙区时,旅游影响系数均计为 1。

从指标性质看,伴人种比值和旅游影响系数属于负值,其绝对值愈大,植被景观愈差,旅游活动的生态负效应愈大。景观重要值、物种多样性、群落结构比和阴生种比值属于正值,其值愈大,说明植被景观愈好,旅游干扰愈小。

1.3 分析方法

本文运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)逐层确定上述指标体系中各个层次的指标的权重。通过 AHP 确定各指标的权重以后,便可以定量地比较植被景观的各种特征,最终确定植被景观对旅游开发生态效应的性质和大小,从而划分出不同性质的生态区域。

2 结果与分析

在层次分析法中,需要进行一致性检验,其中,CI 是一致性指标,CI=0,表示有完全的一致性;CI 接近于 0,表示具有满意的一致性;CI 越大,不一致性越严重。CR 是随机一致性比率,当 CR<0.1 时,表明具有满意的一致性。根据 AHP 法的计算结果可知(表 1),在本研究中所构建的 9 个判断矩阵中,CI 值都非常接近于 0,CR 值也均都小于 0.1,说明它们均具有满意的一致性。

根据 AHP 法,各层次的指标权重结果见表 1。通过分析各指标的权重,可以看出各指标对于该层总目标的重要性。在第一层次中,对于旅游开发与植被景观之间的生态效应,景观重要值的权重最大,其次是群落结构比,第三是物种多样性,第四是旅游影响系数,最小的是伴人种比值和阴生种比值。在第二层次中,对于景观重要值而言,乔木重要值的权重最大,其次是灌木重要值,最小的是草本重要值;对于物种多样性而言,其重要性依次是乔木层、草本层、灌木层;在群落结构上,生活型植物的重要性依次是高位芽、地上芽、地面芽、隐芽、一年生植物;对于旅游影响系数而言,各指标的权重大小依次是林木更新影响系数>植被层现状系数>垃圾影响系数>折枝影响系数>践踏影响系数。在第三层次中,对于乔木层、灌木层和草本层的物种多样性而言,丰富度的权重都是最大的,其次是多样性,最小的是均匀度;对于高位芽植物比例而言,各生活型的权重依次是大高位芽植物比例>中高位芽植物比例>小高位芽植物比例>矮高位芽植物比例。依据各个指标的权重(表 1),分别计算植被景观的各种特征值。

表 1 层次分析法确定的指标权重

Table 1 The indices′ weight coefficient calculating by Analytic Hierarchy Process

层次 Hierarchy	特征根 Characteristic root	一致性指标 Coincidence indicator	随机一致性比率 Random consistency ratio	代号 Code name	该层次权重 The weight of this hierarchy	相对于总目标权重 The weight of this hierarchy Relative to total target
A 层—B 层 A Hierarchy—B Hierarchy	6.1112	0.0223	0.0177	B1	0.2465	0.2465
				B2	0.2100	0.2100
				B3	0.2208	0.2208
				B4	0.0579	0.0579
				B5	0.0610	0.0610
				B6	0.2040	0.2040
B1—C 层 B1—C Hierarchy	3.0193	0.0097	0.0185	C1	0.6185	0.1525
				C2	0.2292	0.0565
				C3	0.1524	0.0376
B2—C 层 B2—C Hierarchy	3.003	0.0015	0.0030	C4	0.4021	0.0844
				C5	0.2767	0.0581
				C6	0.3212	0.0675

续表

层次 Hierarchy	特征根 Characteristic root	一致性指标 Coincidence indicator	随机一致性比率 Random consistency ratio	代号 Code name	该层次权重 The weight of this hierarchy	相对于总目标权重 The weight of this hierarchy Relative to total target
B3—C 层	5.1962	0.0489	0.0438	C7	0.3425	0.0756
B3—C Hierarchy				C8	0.2506	0.0553
				C9	0.2068	0.0457
				C10	0.1127	0.0249
				C11	0.0874	0.0193
B6—C 层	5.1907	0.0477	0.0426	C12	0.1938	0.0395
B6—C Hierarchy				C13	0.0729	0.0149
				C14	0.1872	0.0382
				C15	0.2942	0.0600
				C16	0.2500	0.0510
C4—D 层	3	0	0	D1	0.4540	0.0383
C4—D Hierarchy				D2	0.2254	0.0190
				D3	0.3206	0.0271
C5—D 层	3	0	0	D4	0.4540	0.0264
C5—D Hierarchy				D5	0.2254	0.0131
				D6	0.3206	0.0186
C6—D 层	3	0	0	D7	0.4540	0.0306
C6—D Hierarchy				D8	0.2254	0.0152
				D9	0.3206	0.0216
C7—D 层	4.0450	0.0150	0.0169	D10	0.3529	0.0267
C7—D Hierarchy				D11	0.3436	0.0260
				D12	0.1999	0.0151
				D13	0.1037	0.0078

A:旅游开发与植被景观之间的生态效应,The ecological effect of tourism development on vegetation landscapes;B1:景观重要值,Landscape importance value;B2:物种多样性,Species diversity;B3:群落结构比,Proportions in community structure;B4:阴生种比值,Negative species proportion;B5:伴人种比值,Proportion of species in close proximity to human beings;B6:旅游影响系数,Tourism influencing index;C1:乔木重要值,Tree importance value;C2:灌木重要值,Shrub importance value;C3:草本重要值,Herb importance value;C4,乔木层物种多样性,Species diversity of tree layer;C5:灌木层物种多样性,Species diversity of shrub layer;C6:草本层物种多样性,Species diversity of herb layer;C7:高位芽植物比例,Phanerophyte proportion;C8:地上芽植物比例,Chamaephyte proportion;C9:地面芽植物比例,Hemicryptophyte proportion;C10:隐芽植物比例,Cryptophyte proportion;C11:一年生植物比例,Proportion of annual plants;C12:垃圾影响系数,Rubbish influencing index;C13:践踏影响系数,Trampling influencing index;C14:折枝影响系数,Damaging branch influencing index;C15:林木更新影响系数,Forest regeneration influencing index;C16:植被层现状系数,Vegetation situation influencing index;D1:乔木层丰富度,The richness of tree layer;D2:乔木层均匀度,The evenness of tree layer;D3:乔木层多样性,The diversity of tree layer;D4:灌木层丰富度,The richness of shrub layer;D5:灌木层均匀度,The evenness of shrub layer;D6:灌木层多样性,The diversity of shrub layer;D7:草本层丰富度,The richness of herb layer;D8:草本层均匀度,The evenness of herb layer;D9:草本层多样性,The diversity of herb layer;D10:大高位芽植物比例,Large phanerophyte proportion;D11:中高位芽植物比例,Middle phanerophyte proportion;D12:小高位芽植物比例,Small phanerophyte proportion;D13:矮高位芽植物比例,Short and small phanerophyte proportion

在五台山旅游区,由于旅游景点分布的空间差异,因而不同方向上旅游开发程度不一,相应地,不同方向上也有着不同的旅游吸引力和不同强度的旅游干扰。为此,从不同方向上(即不同样线上),来分析旅游开发与植被景观之间的生态效应。

2.1　正东方向

正东方向首先经过了塔院寺、街道区、居民区和商业区,这些区属于人为活动强烈干扰区,仅有一些乔木种或草本植物偶然出现,未能形成一个小的植物群落;其次,样线经过的植被区域才依次由单纯的草本层向乔灌草并存的区域类型过渡,其中 E6—E9 为草本群落,E10 和 E11 为青杨群落(Comm. *Populus cathayana*),E12

为华北落叶松群落(Comm. *Larix principis-rupprechtii*)。

由表 2 可知,样地 E1—E5 的景观重要值(LIV)、物种多样性(SD)、群落结构比(PCS)和阴生种比值(NSP)均为 0,而伴人种比值(PS)和旅游影响系数(TII)均为 1,这一结果与这类区域的性质和植被现状相一致。随着距离的增加,即从 E6—E12,LIV、SD、PCS 和 NSP4 种特征值在总体上有一个不断增长的趋势,PS 和 TII 值却在不断减小。这说明旅游干扰越来越小,植被景观的质量越来越好。就植被景观的类型来讲,乔木景观的各种特征远远要好于草本景观。在草本景观中(E6—E9),尽管建群种不同,但是随着距离的增加,即干扰越来越小的情况下,LIV、SD、PCS 和 NSP4 种特征值表现出一致增大的趋势;在乔木景观中,由于群落性质不同,景观却有不同的特征。从 E10—E12,除 NSP 外,LIV、SD 和 PCS 都在 E11 达到最大值,随后又开始下降。E11 和 E12 的旅游干扰近乎相等,这说明在自然条件和旅游干扰近乎相等的情况下,青杨群落的景观特征要大于华北落叶松群落的景观特征。从生态效应值(EIV)来看,EIV 有正负之分,E1—E7 为负值,E8—E12 为正值。这说明对于旅游开发的生态响应,植被景观在近距离处表现出明显的生态负效应,而在远距离处 EIV 越来越大。

从自然条件来看,该样带的海拔不断升高,地形由平地向山地沿伸,且坡度越来越大,坡向在山地区域基本一致。而地形较陡的地方,植被景观较好,说明旅游开发程度大的区域首选地形平缓区。

表 2 正东方向植被景观特征

Table 2 The characteristics of vegetation landscape in due east

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
E1	1600	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.9980	−0.2646
E2	1600	0	南坡	平地	平地	200	0	0	0	0	1	0.9980	−0.2646
E3	1600	0	南坡	平地	平地	300	0	0	0	0	1	0.9980	−0.2646
E4	1600	0	南坡	平地	平地	400	0	0	0	0	1	0.9980	−0.2646
E5	1605	0	南坡	平地	平地	500	0	0	0	0	1	0.9980	−0.2646
E6	1610	0	南坡	平地	平地	600	0.0115	0.9633	0.1501	0	0.8164	0.8078	−0.1034
E7	1615	17	西北坡	线坡	下坡	700	0.0162	1.5331	0.1656	0.0340	0.6329	0.7909	−0.0693
E8	1660	25	西北坡	线坡	中坡	800	0.0229	1.5340	0.2057	0.1620	0	0.6953	0.0469
E9	1720	16	西北坡	线坡	中坡	900	0.0301	2.1190	0.2029	0.4725	0	0.6732	0.0813
E10	1760	25	西北坡	线坡	中坡	1000	0.2001	1.8030	0.3373	0.2946	0	0.4367	0.2742
E11	1790	30	东北坡	线坡	中坡	1100	0.3822	3.1657	0.4179	0.2876	0	0.4477	0.4074
E12	1820	22	西北坡	线坡	中坡	1200	0.3371	2.0837	0.3265	0.4842	0.0159	0.2008	0.414

2.2 东北方向

东北方向首先经过了寺庙区和居民区(NE1—NE7,NE9),其次才是草本景观区(NE8,NE10—NE12)、乔木景观区(NE13—NE21)。在乔木景观区,群落类型比较复杂,有青杨群落(NE13、NE14 和 NE16)、华北落叶松群落(NE15 和 NE21)、杏树群落(Comm. *Prunus armeniaca*)(NE17)、青杄群落(Comm. *Picea wilsonii*)(NE18 和 NE19)、油松群落(Comm. *Pinus tabulaeformis*)(NE20)。该样带海拔在 1600—1700 m 之间,草本景观区部分属于农田弃耕地,乔木景观区的坡度普遍较陡,坡向基本为南坡或东南坡,坡形为线性,坡位为中下坡。东北方向是进入五台山的北大门,该样带除受旅游景点影响外,还受到附近交通线路的影响。

由表 3 可知,样地 NE1—NE7 和 NE9 的 LIV、SD、PCS 和 NSP 均为 0,PS 和 TII 均为 1。随着距离的增加,尽管 LIV、SD、PCS 和 NSP4 值因不同的群落类型而有所波动,但是它们都有一个不断增大的趋势;而 PS 和 TII

都是在明显地下降。至于 EIV,随着距离的增加,EIV 越来越大。其中,在寺庙区和居民区、草本景观区,植被景观都表现出生态负效应,在乔木景观区则表现出正效应。从不同类型的植被景观而言,无论 LIV、SD、PCS,还是 NSP,乔木景观区都比草本景观区要大;但是乔木景观区的 PS 和 TII 都要小于草本景观区。在乔木景观区,因群落类型不同,植被特征变化复杂。相对而言,青杨群落的 LIV、SD 和 NSP 都较小,而 PCS 与其他群落类型近于相当。杏树群落的各种特征值也很小。青扦、油松和华北落叶松群落的 4 个特征值却相对较大。这种差异可能有 2 个原因:首先,青杨、杏树群落距中心区较近,受到的干扰大;青扦、油松和华北落叶松群落距中心区较远,旅游干扰很小。第二,可能由于种群的生物学特性所造成的。不同种群有不同的生态习性,相应地群落内的微环境如光照、水分等便有所差异,从而有着不同的植被特征。如实际调查中,青杨、杏树群落仅有乔木和草本两个植被层次,而青扦、华北落叶松群落中有时还会出现灌木层。

表 3　东北方向植被景观特征

Table 3　The characteristics of vegetation landscape in the northeast

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
NE1	1600	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE2	1600	0	南坡	平地	平地	200	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE3	1600	0	南坡	平地	平地	300	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE4	1600	0	南坡	平地	平地	400	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE5	1605	0	南坡	平地	平地	500	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE6	1610	0	南坡	平地	平地	600	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE7	1620	0	南坡	平地	平地	700	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE8	1630	8	东南坡	线坡	下坡	800	0.0072	1.6783	0.1529	0.049	0.7513	0.8078	−0.0991
NE9	1640	0	南坡	平地	平地	900	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NE10	1660	0	南坡	平地	平地	1000	0.0093	0.8227	0.1608	0.1171	0.3534	0.7323	−0.0642
NE11	1670	0	南坡	平地	平地	1100	0.0075	0.6823	0.1961	0.0697	0.6971	0.6863	−0.0599
NE12	1660	30	南坡	线坡	上坡	1200	0.0092	1.1038	0.2325	0.0781	0	0.6980	−0.0086
NE13	1680	17	南坡	线坡	中坡	1300	0.0555	1.7977	0.3254	0.272	0	0.6063	0.1545
NE14	1690	15	南坡	凹坡	下坡	1400	0.0731	2.5135	0.3286	0.63	0	0.5123	0.2374
NE15	1690	15	东北坡	线坡	下坡	1500	0.1952	2.0685	0.3774	0.5421	0.0252	0.5690	0.3323
NE16	1680	5	东坡	凹坡	下坡	1600	0.0927	1.5076	0.3292	0.1611	0.0174	0.6688	0.1785
NE17	1670	0	南坡	平地	平地	1700	0.0592	2.2314	0.2734	0.2682	0.0485	0.6405	0.1406
NE18	1680	23	东南坡	线坡	下坡	1800	0.1611	1.9070	0.4143	0.3569	0	0.4863	0.3488
NE19	1690	28	南坡	线坡	中坡	1900	0.0973	2.6326	0.3261	0.5056	0	0.3571	0.3123
NE20	1700	30	东南坡	线坡	中坡	2000	0.2211	2.3689	0.2671	0.4046	0.0752	0.2618	0.3511
NE21	1700	20	南坡	线坡	中坡	2100	0.1392	2.5147	0.3274	0.4787	0	0.1741	0.4093

2.3　正北方向

正北方向依次经过寺庙区(N1—N6)、乔木景观区(N7—N15)。其中,样地 N7—N9 为青杨群落,N10—N15 为华北落叶松群落。该样带海拔在 1600—1800 m 之间,地势逐渐升高。在乔木景观区,坡度较陡,坡形为线形。青杨群落在东坡,位于山坡上部;华北落叶松群落在东北坡,位于中下坡。

由表 4 可知,寺庙区植被景观特征与上述样线相同。随着距离的增加,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 都有增大的趋势,而 PS 和 TII 都在减小。就不同群落类型看,青杨群落受到的旅游干扰明显要大于华北落叶松群落,SD、PCS、NSP 和 EIV 也反映了这一生态趋势,即前者的 4 种特征值要远远小于后者。至于 LIV,青杨群落

要大于华北落叶松群落,这可能说明青杨种群对于旅游干扰有着生物生态学方面的独特性。就同一群落类型如华北落叶松群落,不同距离带上有不同程度的旅游干扰,景观特征也有差异。距离愈远,LIV、SD、PCS 和 NSP 相对愈大,但是在距离中等的地方,某些特征值却较大,如 N13 处的 LIV、PCS 和 NSP 分别为 0.1504、0.3569和 0.488,N12 处的 SD 为 2.5183,这说明中度干扰有利于植物生长,植被景观表现良好。

表 4 正北方向植被景观特征

Table 4 The characteristics of vegetation landscape in due north

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
N1	1600	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N2	1600	0	南坡	平地	平地	200	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N3	1605	0	南坡	平地	平地	300	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N4	1615	0	南坡	平地	平地	400	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N5	1630	0	南坡	平地	平地	500	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N6	1645	0	南坡	平地	平地	600	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
N7	1650	25	东坡	线坡	上坡	700	0.1054	0.5213	0.1178	0	0	0.923	0.058
N8	1660	27	东坡	线坡	上坡	800	0.1266	1.7926	0.2896	0.0879	0.5675	0.7592	0.2164
N9	1700	33	东坡	线坡	上坡	900	0.0929	2.3625	0.3102	0.2057	0.1371	0.6050	0.2371
N10	1730	25	东坡	线坡	中坡	1000	0.0899	2.3401	0.3353	0.1368	0.0602	0.5409	0.2797
N11	1760	19	东南坡	线坡	下坡	1100	0.0763	1.9324	0.3216	0.2971	0.0499	0.4548	0.2641
N12	1780	28	东北坡	线坡	中坡	1200	0.0481	2.5183	0.3179	0.4305	0.0372	0.3443	0.2698
N13	1800	15	东北坡	线坡	中坡	1300	0.1504	2.2177	0.3569	0.488	0	0.2812	0.4126
N14	1750	15	东北坡	线坡	下坡	1400	0.0745	2.2226	0.3155	0.4049	0.1014	0.2215	0.3229
N15	1770	15	东北坡	线坡	下坡	1500	0.2360	2.7339	0.3789	0.4105	0.0342	0.1366	0.5079

2.4 西北方向

在西北方向上,NW2 为居民区,NW1、NW3、NW4 和 NW7 为草本区,NW5 和 NW8 为灌草区,NW6 为青杨群落区,NW9 和 NW10 为青杄群落区。该样带海拔在 1600—1730 m 之间,近距离处为居民区和弃耕地,其他样地坡度较陡,坡向为东坡或东南坡,坡形为线形,属于下坡。

由表 5 可知,除居民区外,随着距离的增加,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 总体上都有一个不断增加的趋势,PS 和 TII 却不断减小。这一总体态势体现了植被景观由草本区向灌草区、乔灌草区演替的趋势,也说明其生态效应由负性向正性发展。居民区和草本区基本属于负效应区,灌草区和乔灌草区属于正效应区。部分样地由于自身原因,其景观特征值有所变化。与其他样线相类似,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV5 个特征值有以下变化趋势:草本区<灌草区<乔灌草区。青杨群落区和青杄群落区相比,前者所受的旅游干扰大于后者,相应地,前者 SD、PCS 和 NSP 值小于后者,但是前者的 LIV 却远大于后者,这又进一步说明了青杨种群有着独特的生物生态学特性。

2.5 正西方向

正西方向经过草本区(W1—W4,W6)、灌草区(W5)、乔灌草区(W7—W9)。W1—W5 为农田弃耕地和坟地区,因而 PS 非常高。乔灌草区均在坡地中部,坡度较缓,为线形坡,坡向为东坡。其中,W7 为白杄群落区,W8 和 W9 为华北落叶松群落区。

表 5　西北方向植被景观特征

Table 5　The characteristics of vegetation landscape in the northwest

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
NW1	1600	0	南坡	平地	平地	100	0.0146	1.5359	0.1087	0	0.4017	0.8030	−0.0694
NW2	1600	0	南坡	平地	平地	200	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
NW3	1620	5	东南坡	凹坡	上坡	300	0.0148	1.3919	0.1943	0.2463	0.4216	0.6909	−0.0165
NW4	1630	0	南坡	平地	平地	400	0.0109	0.5489	0.2262	0.149	0.6561	0.6936	−0.0408
NW5	1650	29	东南坡	线坡	中坡	500	0.0328	1.8174	0.2233	0.3262	0.0796	0.5848	0.1093
NW6	1660	30	东坡	线坡	下坡	600	0.3134	1.7984	0.3046	0.193	0.0218	0.5152	0.298
NW7	1680	10	东坡	线坡	上坡	700	0.0182	1.5367	0.1851	0.1621	0	0.5904	0.0292
NW8	1680	5	东南坡	线坡	下坡	800	0.2001	2.1035	0.2646	0.1408	0.1756	0.4743	0.1852
NW9	1700	21	东坡	线坡	下坡	900	0.1631	1.7942	0.3373	0.2414	0	0.3277	0.302
NW10	1730	23	东南坡	线坡	下坡	1000	0.2321	2.2165	0.3468	0.4567	0	0.1928	0.4616

由表 6 可知,随着距离的增加,植被景观由草本区向灌草区、乔灌草区过渡,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 相应地增大,PS 和 TII 相应地减小。草本区除 W6 外,均为生态负效应区。白杄群落区和华北落叶松群落区相比,前者的 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV5 个特征值均小于后者。这说明不同类型的群落,其景观特征有所差异。就草本区而言,尽管建群种不相同,但仍有这种趋势——距离越近,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 越来越小。这说明在旅游干扰下,草本层中的建群种对于整个群落的生态作用非常有限,其作用远不及乔木层中的建群种。

表 6　正西方向植被景观特征

Table 6　The characteristics of vegetation landscape in due west

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
W1	1610	15	东北坡	线坡	中坡	100	0.0110	1.2466	0.1457	0	0.6613	0.7276	−0.1583
W2	1635	12	东北坡	线坡	中坡	200	0.0093	0.6845	0.0933	0	0.431	0.7230	−0.1693
W3	1650	0	南坡	平地	平地	300	0.0201	1.5373	0.1486	0	0.308	0.6569	−0.0797
W4	1670	0	南坡	平地	平地	400	0.0175	1.3914	0.1364	0.0196	0.4157	0.5537	−0.0691
W5	1680	13	东坡	线坡	下坡	500	0.0812	1.9043	0.2703	0.343	0.0573	0.5767	0.171
W6	1700	0	南坡	平地	平地	600	0.0166	1.9701	0.1710	0.3052	0	0.5537	0.0311
W7	1730	18	东坡	线坡	下坡	700	0.2568	2.4842	0.3623	0.2124	0.0994	0.3162	0.4059
W8	1750	11	东坡	线坡	中坡	800	0.2557	2.6446	0.3943	0.2048	0.0703	0.2001	0.4518
W9	1760	15	东坡	线坡	中坡	900	0.3363	2.6467	0.3946	0.3224	0.0558	0.1366	0.5533

2.6　西南方向

西南方向经过街道区(SW1)、草本区(SW2—SW5,SW7—SW8,SW11—SW12)、灌草区(SW6,SW10,SW13)和乔灌草区(SW9,SW14)。其中,样地 SW4—SW8 为农田区,弃耕时间较短。样地 SW9—SW13 位于弃耕时间较长、线形的中下坡上,坡向为东北坡,坡度较陡,不宜垦殖,现在已经演替为灌草区。

由表 7 可知,随着距离的增加,植被景观向草本区、灌草区和乔灌草区演替,相应地,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 越来越大,PS 和 TII 越来越小。只是由于演替中灌草区、草本区景观交错分布,某些特征值忽高忽低,但是并没有改变植被景观演替的总态势。SW9 为青杨群落区,与其他样带相类似,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 都偏大,又说明了青杨种群的独特性。样带末端为华北落叶松群落,因未受到旅游活动的干扰,各种特征值最大。

表 7 西南方向植被景观特征

Table 7 The characteristics of vegetation landscape in the southwest

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
SW1	1590	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
SW2	1590	0	南坡	平地	平地	200	0.0097	1.1064	0.1905	0.2239	0.2526	0.5539	−0.0001
SW3	1605	10	东南坡	线坡	中坡	300	0.0149	1.3888	0.2117	0.4022	0	0.6171	0.0479
SW4	1610	0	南坡	平地	平地	400	0.0136	1.2477	0.1581	0.0653	0.7567	0.7469	−0.0788
SW5	1610	0	南坡	平地	平地	500	0.0075	1.1274	0.0968	0	0.9217	0.7276	−0.1173
SW6	1605	15	南坡	线坡	中坡	600	0.0836	2.5294	0.2515	0.0659	0.2129	0.5921	0.1511
SW7	1600	0	南坡	平地	平地	700	0.0096	1.6778	0.2025	0.2086	0.0495	0.6143	0.0269
SW8	1600	0	南坡	平地	平地	800	0.0114	1.2473	0.1191	0.0483	0.5522	0.5933	−0.0454
SW9	1620	20	东北坡	凹坡	下坡	900	0.3847	2.0759	0.2980	0.6971	0.1205	0.5963	0.3286
SW10	1630	20	东北坡	凹坡	下坡	1000	0.0670	2.3564	0.2693	0.2901	0.0383	0.5139	0.1757
SW11	1650	25	东北坡	线坡	下坡	1100	0.0086	1.5320	0.2092	0.2495	0	0.4828	0.0818
SW12	1670	30	东北坡	线坡	中坡	1200	0.0115	1.9654	0.2111	0.2748	0	0.4211	0.1053
SW13	1690	30	东北坡	线坡	下坡	1300	0.0920	2.2452	0.2646	0.3232	0	0.3667	0.244
SW14	1700	26	东北坡	线坡	上坡	1400	0.2861	2.3581	0.3894	0.1601	0	0.2324	0.4431

2.7 正南方向

正南方向经过停车场(S1—S2)、草坪区(S3—S5)、居民区和商业服务区(S6—S7,S10—S28)、草本区(S8,S29—S30)、灌草区(S32—S33,S37—S38)和乔灌草区(S9,S31,S34—S36,S39—S41)。其中,S9,S31,S34,S36,S40—S41 是青杨群落区,S35 是油松群落区,S39 是白桦群落区。样地 S1—S28 地势平坦,是居民区和旅游开发的中心地段。S32—S41 位于交通路线附近的山坡上,坡度较陡,坡向为东坡、东北或东南坡,大部分样地为线形的中下坡。

由表 8 可知,在南线,居民区和商业区交错分布,旅游开发程度大,原有植被已经被人工景观所代替,仅在部分地段有人工植被存在或为弃耕地。如样地 S3—S5 为草坪区,S3 和 S4 为人工草地,S5 为人工灌草地,它们只是因旅游业发展的需求而存在,其景观特征值相对远距离处要小。样地 S12 在农田弃耕地上。样地 S8 为草本区,样地 S9 为乔灌草区,它们只是因梵仙山的地形阻隔而得以保存。如果排除人工植被和地形因素的影响,植被景观的 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV5 个特征值仍表现出随着距离的增加而不断增大的趋势,相应地,PS 和 TII 越来越小。这与植被景观由人工区向草本区、灌草区和乔灌草区演化的趋势相吻合。就不同类型的植被景观而言,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 仍表现出:草本区<灌草区<乔灌草区。其中,人工区和草本区大部分是生态负效应区。在样地 S31—S41 段,灌草区和乔灌草区交错更替,这可能与人类活动有关。居民区附近因人类活动破坏,植被演替为灌草区,相应地,其植被景观特征值也减小,如样地 S37—S38;寺庙区附近由于宗教原因,植被完好,如样地 S35 的 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 都较大。在乔灌草区,不同种群的生态作用仍

有差异。如青杨的 LIV 值相对比白桦的要大,但是青杨群落的结构相对简单,灌木层不发达。

表 8　正南方向植被景观特征

Table 8　The characteristics of vegetation landscape in due south

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
S1	1590	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S2	1590	0	南坡	平地	平地	200	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S3	1590	0	南坡	平地	平地	300	0.0071	0.9625	0.1900	0.2581	0.4933	0.5199	0.006
S4	1590	0	南坡	平地	平地	400	0.0109	1.2486	0.1592	0.1644	0.5397	0.5566	0.0069
S5	1590	0	南坡	平地	平地	500	0.0238	1.6077	0.1826	0.1218	0.8782	0.6244	0.0036
S6	1585	0	南坡	平地	平地	600	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S7	1585	0	南坡	平地	平地	700	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S8	1580	0	南坡	平地	平地	800	0.0113	1.2456	0.1874	0	0.6441	0.6441	−0.0323
S9	1590	15	东北坡	线坡	下坡	900	0.0281	1.6487	0.2872	0.5527	0.2185	0.6398	0.1272
S10	1580	0	南坡	平地	平地	1000	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S11	1580	0	南坡	平地	平地	1100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S12	1570	0	南坡	平地	平地	1200	0.0049	1.6763	0.1198	0.0433	0.4819	0.7783	−0.0715
S13	1560	0	南坡	平地	平地	1300	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S14	1560	0	南坡	平地	平地	1400	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S15	1560	0	南坡	平地	平地	1500	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S16	1560	0	南坡	平地	平地	1600	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S17	1560	0	南坡	平地	平地	1700	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S18	1560	0	南坡	平地	平地	1800	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S19	1560	0	南坡	平地	平地	1900	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S20	1560	0	南坡	平地	平地	2000	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S21	1560	0	南坡	平地	平地	2100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S22	1560	0	南坡	平地	平地	2200	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S23	1560	0	南坡	平地	平地	2300	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S24	1560	0	南坡	平地	平地	2400	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S25	1560	0	南坡	平地	平地	2500	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S26	1560	0	南坡	平地	平地	2600	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S27	1560	0	南坡	平地	平地	2700	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S28	1560	0	南坡	平地	平地	2800	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
S29	1560	0	南坡	平地	平地	2900	0.0101	1.6757	0.1224	0.0186	0.729	0.8271	−0.0859
S30	1550	0	南坡	平地	平地	3000	0.0103	0.9628	0.1900	0.0324	0.2949	0.7663	−0.0145
S31	1550	0	南坡	平地	平地	3100	0.1052	1.7937	0.3352	0.0114	0.1278	0.7986	0.1916
S32	1540	35	东坡	线坡	上坡	3200	0.0209	1.2397	0.2585	0.2217	0	0.5409	0.116
S33	1530	32	东坡	线坡	上坡	3300	0.0319	1.4310	0.2527	0.3196	0	0.4478	0.1547
S34	1520	0	南坡	平地	平地	3400	0.0559	1.5061	0.2660	0.2276	0.5498	0.7304	0.0914
S35	1520	30	东北坡	线坡	下坡	3500	0.1478	3.4068	0.3691	0.7367	0	0.3126	0.4509
S36	1520	5	东北坡	凹坡	下坡	3600	0.1286	1.9394	0.3234	0.181	0.0185	0.4852	0.2849
S37	1510	20	东北坡	线坡	下坡	3700	0.0381	1.9811	0.2805	0.5433	0	0.4478	0.1854
S38	1510	22	东北坡	凹坡	下坡	3800	0.0446	2.6125	0.2628	0.538	0.0705	0.3667	0.1936
S39	1500	35	东北坡	线坡	中坡	3900	0.0640	1.9724	0.3559	0.7159	0	0.3408	0.3135
S40	1500	35	东南坡	线坡	下坡	4000	0.0989	2.9840	0.3961	0.2488	0	0.3220	0.3536
S41	1500	30	东南坡	线坡	下坡	4100	0.1579	2.9666	0.4056	0.5186	0	0.1554	0.5137

2.8 东南方向

东南方向经过寺庙区(SE1)、草坪区(SE2—SE4)、居民区和商业区(SE5—SE8)、草本区(SE9—SE11)和乔灌草区(SE12—SE14)。大部分地段地势开阔和平坦,是居民区和商业区。仅有乔灌草区位于线形的中下坡上,坡向为北坡,坡度较大。

由表9可知,随着距离的增加,植被景观的LIV、SD、PCS、NSP和EIV都有越来越大的趋势,而PS和TII却越来越小。在近距离处的草坪区,各种特征值较大,这是由于人工植被的作用。不同类型的植被,其景观特征值不一样。乔灌草区的景观特征值大于草本区的景观特征值。样地SE12—SE14是青杨群落区,对青杨群落来讲,显然,距离愈远,各种特征值愈大,这是由于旅游活动的干扰在不断减小。

表9 东南方向植被景观特征

Table 9 The characteristics of vegetation landscape in the southeast

样地 Sample	海拔 Elevation/m	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	坡形 Slope form	坡位 Slope position	距离 Distance/m	景观重要值 Landscape importance value	物种多样性 Species diversity	群落结构比 Proportions in community structure	阴生种比值 Negative species proportion	伴人种比值 Proportion of species in close proximity to human beings	旅游影响系数 Tourism influencing index	生态效应值 Ecological effect value
SE1	1590	0	南坡	平地	平地	100	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
SE2	1590	0	南坡	平地	平地	200	0.0086	1.1031	0.1634	0.1474	0.4575	0.5199	−0.0088
SE3	1590	0	南坡	平地	平地	300	0.0164	1.2469	0.1128	0	0.9693	0.5566	−0.0352
SE4	1590	0	南坡	平地	平地	400	0.0768	1.8953	0.2106	0	0.8402	0.6244	0.0732
SE5	1585	0	南坡	平地	平地	500	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
SE6	1580	0	南坡	平地	平地	600	0.0110	1.6786	0.1253	0.0176	0.5839	0.805	−0.0559
SE7	1575	0	南坡	平地	平地	700	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
SE8	1575	0	南坡	平地	平地	800	0	0	0	0	1	0.998	−0.2646
SE9	1570	0	南坡	平地	平地	900	0.0209	1.5348	0.1662	0	0.8798	0.8171	−0.0803
SE10	1570	0	南坡	平地	平地	1000	0.0200	0.9620	0.1250	0	0.6122	0.7102	−0.0507
SE11	1570	0	南坡	平地	平地	1100	0.0219	1.6786	0.1677	0.1277	0.5131	0.6715	0.0152
SE12	1585	15	北坡	凹坡	下坡	1200	0.1485	2.2192	0.3454	0.2473	0.143	0.6524	0.2524
SE13	1610	25	北坡	线坡	中坡	1300	0.2535	2.2908	0.3599	0.2917	0.0306	0.3752	0.3873
SE14	1630	25	北坡	线坡	中坡	1400	0.4224	2.9527	0.3716	0.6306	0	0.2258	0.5774

2.9 整体态势

由上述可知,在台怀镇的东、东北、北、西北、西、西南、南和东南方向上,分别取12、21、15、10、9、14、41和14个样地。根据取样的原则(每条样带取至植被几乎没有受到干扰为止)可知,样地的数目在一定程度上反映了该样带上旅游开发程度的大小,样地数量愈多,旅游活动愈强。由此可以推断,在五台山旅游区,正南和东北方向开发程度最强,其次是正北、东南和西南、正东,最弱的是西北和正西方向。这种开发程度的空间格局,与旅游景点的分布和地形因素有着密切的关系。旅游景点主要指寺庙景观,不同寺庙有历史长短、规模和重要性等方面的差异,因而它们有着不同的影响力,而且其地理分布或多或少受佛教因素的影响。因此不同方向上旅游景点有多有少。正南、东北和正北方向上寺庙多,而西北和正西方向上就很少。地形因素首先制约着人类活动的范围,人类总是优先选择地势开阔和平坦的地方来从事生活和生产,如台怀镇的居民区和商业区的区位就是如此,正南和东北方向上都比较开阔和平坦,居民区和商业区在此密集分布,而在正西方向上全为山坡。相反,较大的坡度总是限制人类活动,如每条样带总是沿伸到坡度较大的地方,末端样地总是坡度较陡,植被生长良好。其次,地形有时候也制约着旅游景点的布局,如黛螺顶的地理位置地势较高,坡度较大,本应无人问津,相反,正是因为这种地势而成为人们"小朝台"的理想之处,从而使正东方向上的旅游活动有

所增强。总之,五台山旅游开发的空间格局是景点分布和地形因素共同作用的结果。

根据不同方向上的植被景观特征值可知,随着距大白塔距离的增加,植被景观依次由没有和零星区或人工植被区(即寺庙区、居民区和商业区、草坪区)向草本区、灌草区和乔灌草区的方向演替。相应地,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 越来越大,PS 和 TII 越来越小。这些说明在每条样带上,近距离处旅游开发强烈,距离愈远,旅游干扰愈小。

如果根据 EIV 进行如下划分:Ⅰ类区,EIV=-0.2646;Ⅱ类区,-0.2646<EIV≤0;Ⅲ类区,0<EIV≤0.25;Ⅳ类区,EIV>0.25。那么可将整个五台山旅游区分为如下植被景观区:Ⅰ类区包括 E1—E5、NE1—NE7、NE9、N1—N6、NW2、SW1、S1—S2、S6—S7、S10—S11、S13—S28、SE1、SE5、SE7—SE8 共 47 个样地;Ⅱ类区包括 E6—E7、NE8、NE10—NE12、NW1、NW3—NW4、W1—W4、SW2、SW4—SW5、SW8、S8、S12、S29—S30、SE2—SE3、SE6、SE9—SE10 共 26 个样地;Ⅲ类区包括 E8—E9、NE13—NE14、NE16—NE17、N7—N9、NW5、NW7—NW8、W5—W6、SW3、SW6—SW7、SW10—SW13、S3—S5、S9、S31—S34、S37—S38、SE4、SE11 共 33 个样地;Ⅳ类区包括 E10—E12、NE15、NE18—NE21、N10—N15、NW6、NW9—NW10、W7—W9、SW9、SW14、S35—S36、S39—S41、SE12—SE14 共 30 个样地。Ⅰ类区面积最大,包括寺庙区、居民区和商业区,旅游开发程度最强烈,原有植被已经不存在,仅有零星的植物种类;Ⅱ类区均为草本区,距离中心区较近,旅游破坏强烈,原有植被退化为草本类型;Ⅲ类区植被类型复杂,既有灌草区,又有质量较好的草本区,还包括质量较差的乔灌草区,面积也较大,人为活动较多;Ⅳ类区均为乔灌草区,距离中心区较远,受到的旅游干扰较小或者几乎没有。

3　结论与讨论

本文针对旅游开发对植被景观的影响,构建了一套涉及 4 个层次、27 个具体指标的评价体系,并结合五台山旅游区野外生态调查进行了实证分析,得出如下结论:(1)在不同方向上,随着距离的增加,旅游活动越来越少,植被景观依次由居民区、商业区或人工植被区向草本区、灌草区和乔灌草区的方向演替。相应地,LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 越来越大,PS 和 TII 越来越小。(2)不同的植被类型,其景观特征明显不同。对于 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV5 个特征值的表征,草本区<灌草区<乔灌草区;至于 PS 和 TII,草本区>灌草区>乔灌草区。不同的群落类型,其景观特征也有所差异。如青杨群落区与华北落叶松群落区、白杆群落区的景观特征值的比较都说明了在旅游干扰下不同种群有不同的生物生态学特性,其中,青杨种群相对独特。同一类型的群落,距离愈近,其 LIV、SD、PCS、NSP 和 EIV 愈小,而 PS 和 TII 却愈大。这是不同程度的旅游干扰所造成的。(3)不同类型的景观区代表不同强度的旅游干扰。居民区代表旅游干扰最强,其次是草本区、灌草区,乔灌草区则最弱。正是由于旅游干扰的不同,植被景观依次演替。从整个区域植被演替的过程来看,人类的负向或正向活动都可能加剧或促进这一生态过程,如居民区附近多为草本区和灌草区,部分寺庙附近却有良好的植被景观。(4)就整个台怀镇而言,旅游开发程度的空间格局是景点分布和地形因素共同作用的结果,植被景观对此有着明显的生态响应。不同方向上样地的数量就是旅游开发程度强弱的表征。正南和东北方向开发程度最强,其次是正北、东南和西南、正东方向,西北和正西方向最弱。(5)根据 EIV,将五台山整个区域分为 4 类区。不同类型的区域,植被景观不同。Ⅰ类区为寺庙区、居民区和商业区,Ⅱ类区为草本区,Ⅲ类区是乔、灌、草的混合区,Ⅳ类区是乔灌草区。

在未来的研究中,还有以下问题需要完善和探讨:(1)本文在借鉴国内外有关成果的基础上,结合我国温带旅游区的实际情况,构建了一套完整的评价指标体系,并以五台山为例进行了具体分析。尽管这些工作具有一定的尝试性,但是其研究无论是在理论上对于旅游生态学的发展、还是在实践上对于指导旅游区的生态管理,都具有重要的意义。就评价指标而言,其出发点是它们应该客观地反映植被景观对旅游开发的生态响应。LIV、SD、PCS、NSP、PS 和 TII 的涵义和计量都是从生态学角度进行的,并没有考虑植被景观的旅游价值,因而这些指标主要表达了一个景观的生态价值。植物群落具有视觉、美学等多方面的旅游价值,不同类型的景观拥有不同的植物色彩、林木尖削指数等形态特征,因而其旅游吸引力也相应地不同。但是该指标体系中

并没有反映植被景观旅游价值的指标,至于如何建立一个反映旅游价值的指标,如何计量旅游价值的大小,都需要继续探讨。(2)从生态学的视角,揭示旅游对植被影响的生态机制有益于景区植被景观的保护和管理,具有重要的实践意义。本文的研究结果仅仅从宏观上给予了一个粗略的反映,虽然具有一定的可行性,但是并不能深刻地揭示这一生态学的机理过程。不同种群有不同的生物生态学特性。对于旅游干扰,它们的LIV、SD、PCS 和 NSP 都有所差异。但是本文并没有详细地探讨这种差异的来源,即去揭示不同种群对于旅游干扰生态响应的机制。(3)土壤作为旅游开发影响植被的一个中间环节,在本文所构建的指标体系中尚未涉及,未来尚需结合土壤性质来进一步研究旅游对植被影响的生态过程。

参考文献(References):

[1] Scherrer P, Pickering C M. Effects of grazing, tourism and climate change on the alpine vegetation of Kosciuszko National Park. The Victorian Naturalist, 2001, 118(3): 93-99.

[2] Pickering C M, Hill W, Newsome D, Leung Y F. Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. Journal of Environmental Management, 2010, 91(3): 551-562.

[3] Pickering C M, Rossi S, Barros A. Assessing the impacts of mountain biking and hiking on subalpine grassland in Australia using an experimental protocol. Journal of Environmental Management, 2011, 92(12): 3049-3057.

[4] Törn A, Tolvanen A, Norokorpi Y, Tervo R, Siikamäki P. Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest. Journal of Environmental Management, 2009, 90(3): 1427-1434.

[5] Roux-Fouillet P, Wipf S, Rixen C. Long-term impacts of ski piste management on alpine vegetation and soils. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(4): 906-915.

[6] Tzatzanis M, Wrbka T, Sauberer N. Landscape and vegetation responses to human impact in sandy coasts of Western Crete, Greece. Journal for Nature Conservation, 2003, 11(3): 187-195.

[7] 杨红玉, 张长顺. 踩踏对植被影响研究. 云南教育学院学报, 1998, 14(5): 50-55.

[8] 朱珠, 包维楷, 庞学勇, 闫晓丽, 李玉武. 旅游干扰对九寨沟冷杉林下植物种类组成及多样性的影响. 生物多样性, 2006, 14(4): 284-291.

[9] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 旅游干扰对历山亚高山草甸优势种群种间相关性的影响. 生态学报, 2005, 25(11): 2868-2874.

[10] 晋秀龙, 陆林, 郝朝运, 王立龙, 巩劼. 旅游活动对九华山风景区游道附近植物群落的影响. 林业科学, 2011, 47(2): 1-8.

[11] 程占红, 牛莉芹. 五台山南台山地草甸种群对旅游干扰响应的识别. 应用与环境生物学报, 2008, 14(3): 324-327.

[12] 程占红, 牛莉芹. 五台山南台山地草甸种群对旅游干扰的生态响应. 水土保持研究, 2008, 15(6): 222-224.

[13] 李贞, 保继刚, 覃朝锋. 旅游开发对丹霞山植被的影响研究. 地理学报, 1998, 53(6): 554-561.

[14] 茹文明, 张峰. 山西五台山种子植物区系分析. 植物研究, 2000, 20(1): 36-47.

[15] 戴君虎, 潘嫄, 崔海亭, 唐志尧, 刘鸿雁, 曹燕丽. 五台山高山带植被对气候变化的响应. 第四纪研究, 2005, 25(2): 216-223.

[16] 牛莉芹, 程占红, 赵蒙. 旅游干扰下五台山不同植被景观区物种多样性特征. 应用与环境生物学报, 2012, 18(4): 559-564.

[17] 程占红, 牛莉芹. 五台山南台旅游活动对山地草甸优势种群格局的影响. 生态学报, 2008, 28(1): 416-422.

[18] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.

[19] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.

[20] 牛莉芹, 程占红. 五台山森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应. 水土保持研究, 2012, 19(4): 106-111.